

Validation expérimentale de la nature tridimensionnelle de l'écoulement des polymères ramifiés dans des contractions planes

Mohamed Haouche, Yvan Sirakov, Auder Ainsier, Jacques Guillet.

*Laboratoire de Rhéologie des Matières Plastiques-UMR CNRS 5156
Université Jean Monnet, Saint-Etienne
23 Rue Paul Michelon-42023-Saint-Etienne.*

Résumé : Nous présentons quelques résultats expérimentaux de l'écoulement dans deux contractions planaires pour deux polymères branchés. Il s'agit du PEbd-Iupac A fondu à 150°C et du PEbd-Atofina fondu à 150°C et 160°C. Un des objectifs de ce travail est de mettre en évidence le caractère tridimensionnel de ce type d'écoulement. Les clichés présentés concernent les franges isochromatiques d'un seul matériau pour un seul taux de déformation dans les deux géométries considérées. La détermination du coefficient des contraintes optiques C est effectuée suivant deux approches empiriques. Les résultats de ces méthodes sont comparés à ceux issus de la littérature.

Mots clés: Contraction planaire 3D, biréfringence, coefficient de contrainte-optique, écoulement viscoélastique.

1. Introduction:

La compréhension du comportement des polymères fondus dans les procédés de fabrication, passe nécessairement par la détermination qualitative et quantitative de la cinématique de l'écoulement et de la distribution des contraintes. Pour cela, plusieurs techniques de mesure et de visualisation ont été élaborées durant les dernières années.

La biréfringence induite par l'écoulement fait partie des techniques couramment utilisées. Son origine vient de la découverte de Brewster en 1816 : une action mécanique sur un solide transparent produit des contraintes qui peuvent être mise en évidence par l'apparition d'une biréfringence. Trente ans plus tard, Maxwell formule des lois reliant l'anisotropie optique des matériaux photo-élastiques aux contraintes mécaniques appliquées. Ces lois ont données naissance, au début de siècle, à la photoélasticimétrie.

L'intérêt suscité par cette technique peut être expliqué par son indépendance des conditions mécaniques et son découplage de l'écoulement étudié, ce qui fait d'elle une technique non-intrusive. Néanmoins, comme la résolution et la précision dépendent de l'épaisseur traversée par la lumière, la distribution résultante, sur le plan perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière (direction neutre), est dans tous les cas l'intégration de ces contraintes sur l'épaisseur. Il n'est de ce fait pas possible d'avoir des informations locales sur les contraintes, c'est à dire

dans un plan d'écoulement (analyse bidimensionnelle pure).

Nous présentons dans ce travail des clichés de biréfringence induite par l'écoulement de différents polymères fondus (PEbd-Atofina, PEbd-Iupac), dans des contractions brusques planaires. Les rapports de contraction H/h (hauteur réservoir sur épaisseur fente) sont identiques et égaux à $(8:1)$ et les rapports caractéristiques H/W (hauteur réservoir sur largeur réservoir) sont différents. L'objectif est de détecter la nature tridimensionnelle des écoulements des polymères branchés dans les contractions planaires, et ainsi d'obtenir des clichés expérimentaux pour les comparer avec ceux issus de la simulation numérique.

2. Dispositif expérimental :

2.1 Matériaux utilisés :

Les matériaux étudiés sont des polymères branchés commerciaux, le PEbd-Iupac A (1840H de Basell polyolefins) fondu à 150°C et le PEbd-Atofina fondu à 150°C et 160°C. Ces matériaux ont fait l'objet de nombreuses études rhéologiques dans le monde académique et beaucoup de résultats sont disponibles [1, 2].

2.2 Montage expérimental :

Deux géométries de filière ont été utilisées dans les expériences de biréfringence. Ces filières ont le même rapport de contraction $(8:1)$, mais des rapports caractéristiques différents, $0,32$ pour la

première et 1 pour la deuxième. Les dimensions sont présentées dans la figure-1.

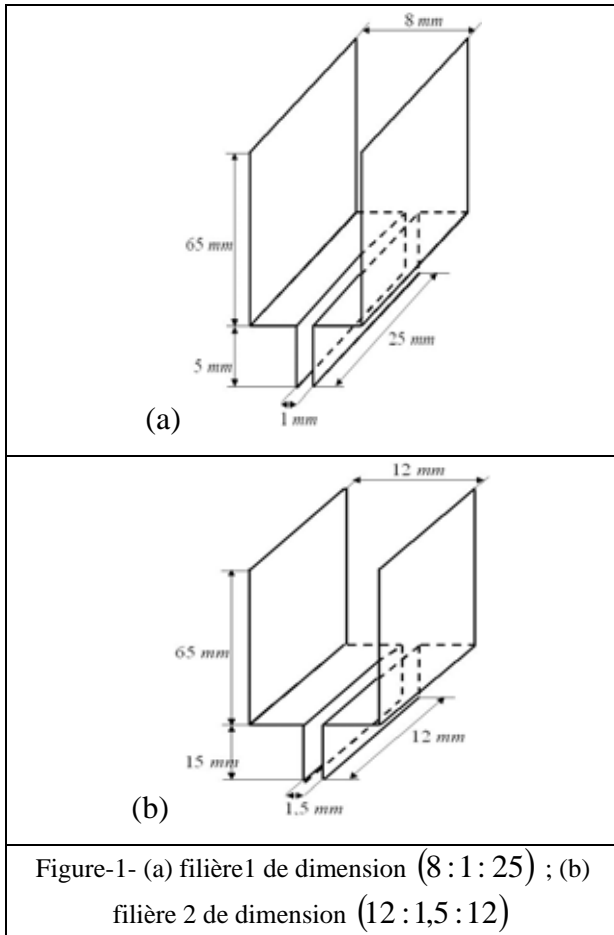


Figure-1- (a) filière1 de dimension (8 : 1 : 25) ; (b) filière 2 de dimension (12 : 1,5 : 12)

Ces filières sont équipées de vitres latérales permettant la visualisation de l'écoulement dans la section de contraction, et de crayons chauffants pour imposer la température fixée. Le débit est assuré par une petite extrudeuse de laboratoire avec une précision d'environ 1% .

Le polariscope adopté permet la récupération des clichés de franges isochromatiques. Les composantes de ce polariscope sont regroupées dans la figure 2.

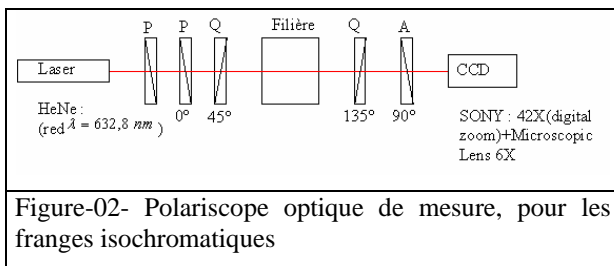


Figure-02- Polariscopes optique de mesure, pour les franges isochromatiques

3. Résultats et discussion :

L'exploitation quantitative des clichés de biréfringence induite par l'écoulement, dépend de la

validation de la loi de contrainte optique (1), d'où la nécessité de connaître la valeur du coefficient de contrainte optique C qui dépend du matériau étudié.

$$\Delta n = C \Delta \sigma \quad (1)$$

où Δn est la différence des indices de réfraction principaux (biréfringence) et $\Delta \sigma$ la différence des contraintes principales.

La détermination du coefficient de contrainte optique a été effectuée à l'aide de deux approches empiriques. A partir des mesures de pression, l'équation (2) nous fournit les contraintes aux parois correspondantes, et les clichés de la biréfringence dans le réservoir nous permettent de connaître l'ordre de biréfringence au niveau de la contraction.

$$\tau_{xy}(y) = \frac{\Delta P}{L} y ; \quad (2)$$

τ_{xy} est la contrainte de cisaillement, ΔP la différence de pression mesurée, L la longueur de la fente et y l'ordonnée du plan de biréfringence.

- La première approche (Figure 3) consiste à récupérer les positions et les valeurs de biréfringence des franges isochromatiques ou isocliniques à partir du cliché de biréfringence dans la fente :

$$\Delta n = k \frac{\lambda}{d} ; \quad (3)$$

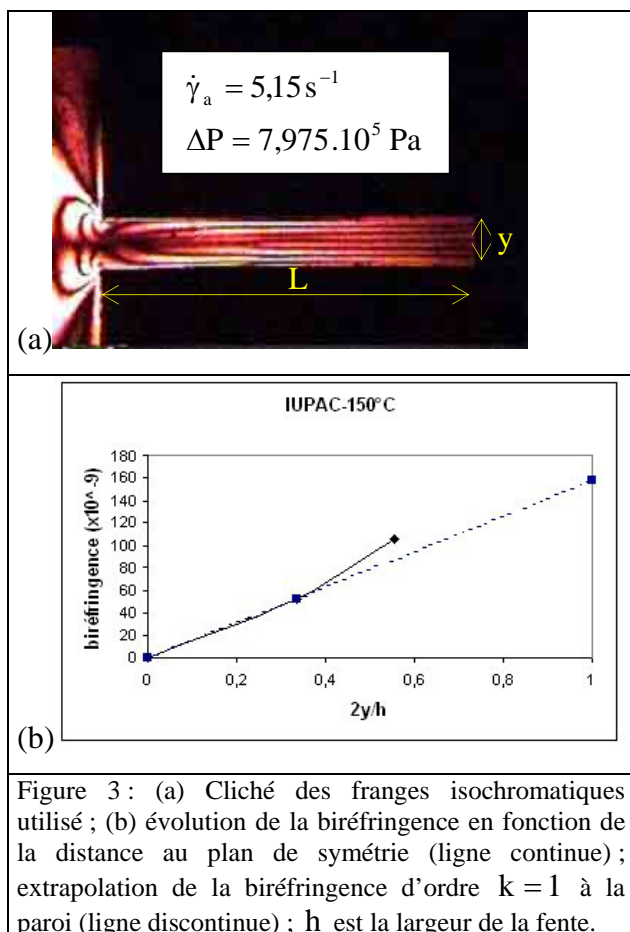
où $\lambda (= 623,8 \text{ nm})$ est la longueur d'onde de la lumière utilisé, d est l'épaisseur du milieu biréfringent et k un entier qui représente l'ordre de la frange.

On trace l'évolution de la biréfringence totale (ligne continue) en fonction de la distance au plan de symétrie horizontal (axe des y). La valeur du coefficient de contrainte-optique C est déterminée par extrapolation à la paroi (ligne discontinue), en respectant la pente du segment de droite formée par la première frange (figure-03), et suivant l'équation :

$$C = \frac{\Delta n_{sw}}{2\tau_{xy}(w)} ; \quad (4)$$

Δn_{sw} et $\tau_{xy}(w)$ sont les valeurs à la paroi de la biréfringence et la contrainte de cisaillement, respectivement.

La figure 3 montre le cas du PEbd-Iupac A fondu à 150°C .



- la deuxième approche (Figure 4) consiste à récupérer l'ordre maximum correspondant au numéro de la frange située au niveau de la contraction. La biréfringence est calculée par l'équation (3), et par identification avec la biréfringence au niveau de paroi, nous calculons C avec l'équation (4). Cette méthode n'est vérifiée que pour le régime linéaire, c'est à dire les débits faibles.

La figure 4 représente la biréfringence du PEbd-Iupac A fondu à 150°C à différents débits. Dans la gamme des contraintes explorée, la variation est linéaire.

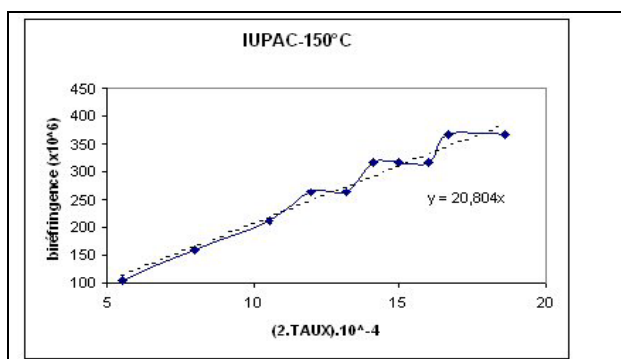


Figure 4 : Evolution de la biréfringence en fonction de la contrainte à la paroi.

- Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Première approche (C en m^2/N)		
LDPE-Atofina		LDPE-IUPAC
160°C	150°C	150°C
$2,107 \cdot 10^{-9}$	$2,273 \cdot 10^{-9}$	$1,9837 \cdot 10^{-9}$
Deuxième approche		
LDPE-Atofina		LDPE-IUPAC
160°C	150°C	150°C
$2,24 \cdot 10^{-9}$	$2,3374 \cdot 10^{-9}$	$2,0804 \cdot 10^{-9}$

Nos valeurs sont en très bon accord avec celle issue de la littérature :

$$C = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{N} \text{ pour le PEbd-Iupac à } 150^\circ\text{C} [3]$$

Les clichés expérimentaux de biréfringence induite par l'écoulement sont présentés pour un seul des matériaux étudiés (PEbd-Iupac A fondu à 150°C), dans les deux géométries, à différents débits, et donc à des taux de déformation différents. Le niveau de contrainte donné par le nombre des franges dans le réservoir, la forme géométrique des franges dans le réservoir et dans la fente, constituent les éléments de comparaison du comportement viscoélastique des différents matériaux utilisés.

La forme papillon des franges isochromatiques, dans le réservoir, avec l'absence des franges de type « W » dans la fente, montrent la nature bi-dimensionnelle de l'écoulement dans la première géométrie (8 : 1 : 25), ce qui est normal pour un rapport caractéristique assez faible, égal à 0,32 [04, 05].

Première géométrie (8 : 1 : 25)

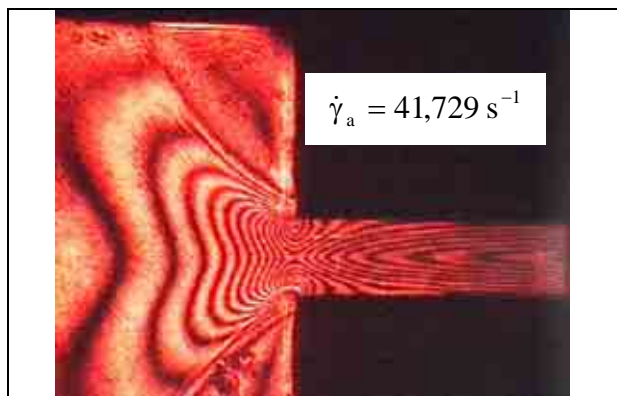


Figure-5- Cliché de biréfringence induite par l'écoulement du PEbd-IUPAC à 150°C

Deuxième géométrie (12 : 1,5 : 12)

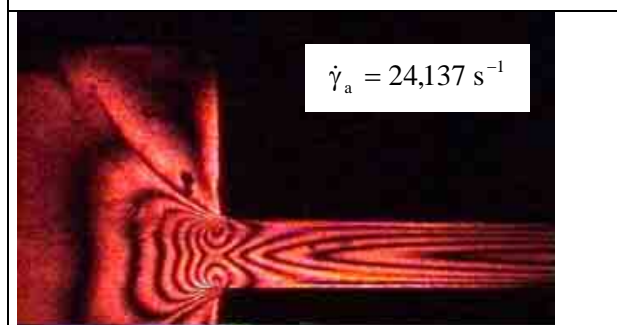


Figure-6- Cliché de biréfringence induite par l'écoulement du PEbd-IUPAC à 150°C

On note aussi que le cliché est plus net à des débits élevés. Cela nous permet d'affirmer que le caractère 2D de l'écoulement est bien vérifié à des débits et taux de déformation importants [06]. Cette constatation est expliquée par le fait que l'importance des couches limites introduites par les vitres diminue avec l'augmentation de débit.

Pour la deuxième géométrie (12 : 1,5 : 12), on note l'apparition de franges de type « W » dans la fente, ainsi que la légère déformation des franges dans le réservoir, qui s'applatissent. Ces deux observations sont à relier à la nature tri-dimensionnelle de l'écoulement.

Ces résultats montrent bien le changement de nature de l'écoulement en fonction du rapport caractéristique H/W qui est égal à 0,32 dans la première géométrie et à 1 dans la deuxième.

4. Conclusion :

L'approche utilisée pour le calcul de coefficient de contrainte-optique, basée sur l'ordre des franges au niveau de la contraction et l'hypothèse de faibles taux de déformation, s'est avérée simple et assez précise.

Dans ce résumé, nous n'avons présenté que quelques-uns de nos résultats expérimentaux. Le dépouillement de toutes les expériences réalisées confirme la nature tri-dimensionnelle de ce type d'écoulement dans la plupart des cas. Cela met en lumière la difficulté de l'analyse quantitative des clichés de biréfringence d'écoulement.

Cette difficulté réside essentiellement dans le compromis à trouver entre la résolution des clichés, qui dépend de l'épaisseur, et les effets tridimensionnels qui peuvent modifier les franges observées.

Références:

- [01]- Sirakov I., Ainser A., Haouche M., Guillet* J., *Three-dimensional numerical simulation of viscoelastic planar contraction flow using the pom-pom differential constitutive model*, J. Non-Newtonian Fluid Mech. 126, 163-173, (2005).
- [02]- Pascale REVENU, *Caractérisation rhéologique en cisaillement et en élongation de polyéthylènes: Application d'une loi de comportement de Wagner*, thèse de Doctorat, St-Etienne, France, (1992).
- [03]- Janeschitz- Kriegl H., *Polymer Melt Rheology and Flow Birefringence*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1983).
- [04]- Öttinger, *Lettre to the editor: End effect inflow birefringence experiments for polymer melts*, J.Rheol., 43, 253-259, (1999).
- [05]- Philip Harrison, Luc J.P. Janssen, Vincent P. Navez, Gerrit W.M. Peters, Frank P.T. Baaijens, *Birefringence measurements on polymer melts in an axisymmetric flow cell*, Rheol. Acta. 41, 114-133, (2002).
- [06]- Clemeur N., Rutgers R.P.G., Debbaut B., *Numerical simulation of abrupt contraction flows using the double convected Pom-Pom model*, J. Non-Newtonian Fluid Mech. 177, 193-209, (2004).